

면니트의 CPB 염색에서 염료 구조에 따른 흡진 거동 분석

Analysis of the Dye Absorption Behavior in Accordance with the Dye Structure in the Cold Pad Batch Dyeing of Cotton Knit

***Corresponding author**

Woosung Lee
wslee@kitech.re.kr

홍석일, 남창우, 이우성*

한국생산기술연구원 ICT섬유의류그룹

Seok Il Hong, Chang Woo Nam and Woosung Lee*

ICT Textile and Apparel Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ansan, Korea

Received_August 23, 2016
Revised_September 08, 2016
Accepted_September 19, 2016

Textile Coloration and Finishing
TCF 28-3/2016-9/175-182
©2016 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Abstract To investigate dyeing behaviors in accordance with dye structure in cold pad batch dyeing of cotton knit, monochlorotriazine-vinylsulfone bifunctional dyes and monofluorotriazine-vinylsulfone bifunctional dyes were prepared. The spectral property and solubility of the dyes were tested and compared with the imported dyes. In addition, exhaustion behaviors of individual and mixed dye solutions were measured to examine the influence of dye structure on dyeing behavior in cold pad batch dyeing. The substantivity, fixation, migration index and half dyeing time were also calculated for further analysis of dyeing behavior of the prepared dyes. As a result, both dyes exhibited the superior solubilities and satisfactory light absorption properties. Also, monofluorotriazine-vinylsulfone bifunctional dyes showed moderate sensitivity to alkalinity and proper kinetic index values compared with the monochlorotriazine-vinylsulfone bifunctional dyes and the imported dyes. The results indicated monofluorotriazine-vinylsulfone bifunctional structure of the dye is suitable for cold pad batch dyeing.

Keywords cold pad batch, cotton knit, reactive dye, dye structure, dye-o-meter

1. 서 론

최근 에너지 및 환경문제의 심각성이 점차 증대하고 있고 우리 경제의 문제점에 대한 근본적인 대책이 필요한 상황에서, 섬유산업도 다품종, 소량 생산 및 빠른 납기를 필요로 하는 일발염색(right-first-time dyeing)의 필요성과 친환경적인 생산을 통해 선진국 주도의 섬유산업 시장에 동참해 나가야 할 시점이다¹⁻³⁾.

섬유 산업 중에서 염색가공 공정은 섬유에서 불순물을 제거하고 심미한 색상과 사용 목적에 적합한 성능을 부여하여 섬유 제조업에서 가장 높은 부가가치를 창출하는 분야이다. 그럼에도 불구하고, 공정 과정에서 다량의 용수와 다양한 화공 약품을 많이 사용하고, 그 처리 온도가 높아 폐수발생량이 많은 문제점이 있다. 또

한 에너지 사용량 또한 전체 섬유 생산 에너지의 약 70%를 차지할 정도로 높아 환경 부하 및 에너지 절감을 크게 할 수 있는 염색 공정 기술이 요구되고 있는 실정이다.

상온에서 염색하는 CPB(Cold-Pad-Batch system) 염색시스템은 기존 고온(80℃ 또는 그 이상) 염색 공정을 대체함으로써 에너지 절감 60%, 용수사용량 60%이상 절감이 가능한 친환경 염색가공 기술이다⁴⁾. CPB 염색은 반응성 염료와 알칼리 혼합액으로 구성된 염액에 원단을 패딩하여 염료를 섬유에 부여한 후 상온에서 수 시간 배칭하고 결합하지 않은 염료의 제거를 위해 수세 및 소평하여 염색하는 방법으로, 작업 공정의 관리가 간편하고 저 에너지 소비, 높은 생산성의 장점을 가지고 있다^{5-7,17)}. 이러한 CPB 염색에 사용되는 염

료는 섬유와 공유결합을 통하여 색을 발현하는 반응성 염료가 주를 이루며, 셀룰로오스계 섬유, 양모 염색에 이용될 때 섬유와 화학적 결합을 이루기 때문에 마찰, 세탁 등의 견뢰도가 아주 우수한 특징을 가진다. CPB용 반응성 염료의 구조는 일반적으로 수용성기, 염료모체, 반응기로 이루어져 있으며, 반응기는 반응기 수에 따라서 monofunctional, multiifunctional 구조로 나누어 볼 수 있다. 또한 반응기의 세부 구조에 따라서 크게 triazine계, sulphatoethylsulphone계, pyrimidine계, quinoxaline계로 분류할 수 있다. 각기 다른 염료의 구조 및 반응기의 수, 세부 구조에 따라서 염료의 반응성, 색상, 용해도 등의 특성이 상이한 결과를 보이며, 이에 따라서 CPB 염색 시 염색 거동이 변화하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 CPB 염색에서 염료의 구조에 따른 염색 거동을 고찰하기 위하여 개발된 CPB용 반응성 염료를 대상으로 실시간 흡진거동을 측정하여 염료의 염착 거동을 분석하였다. CPB 염색 공정상 실시간 흡진거동을 측정할 수 없으므로 침염에 의한 액류염색방법으로 염색을 진행하고 염료간 상대비교를 통해 흡진거동을 분석하였다. 측정된 염료는 반응기가 MCT+VS(monochlorotriazine-vinylsulfone) bifunctional 구조인 염료와 MFT+VS(monofluorotriazine-vinylsulfone) bifunctional 구조인 염료를 사용하였다. 또한, 제시한 MCT+VS, MFT+VS 염료를 현재 대표적인 외산 CPB 반응성 염료와 비교하여 CPB 염색에 적합한 염료 선정을 위한 연구를 진행하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

피염물은 정련 표백 및 머서화 처리된 100% 면니트(single 60수, 우성염직, Korea)를 사용하였다. 염색에 사용된 중성염은 sodium sulfate anhydrous(Na_2SO_4), 알칼리는 sodium carbonate anhydrous(Na_2CO_3)을 사용하였으며 모두 1급 시약을 사용하였다. 염료는 국내 경인양행에서 생산한 원료제품으로 monochlorotriazine과 vinylsulfone 반응기를 동시에 포함하는 MCT-bifunctional 구조의 반응성 염료(MCT+VS, 경인양행, Korea)인 yellow5101, red5101, navy blue5101과 monofluorotriazine과 vinylsulfone

반응기를 동시에 포함하는 MFT-bifunctional 구조의 반응성 염료(MFT+VS, 경인양행, Korea)인 yellow5201, red5201, navy blue5201을 사용하였다. 또한, 비교군으로 대표적인 외산 CPB(Cold-Pad-Batch) 반응성 염료(Novacron, Huntsman, USA)인 yellow(Novacron Yellow CE), red(Novacron Red C2BL), navy blue(Novacron Blue CR) 염료 3원색을 사용하였다.

2.2 염색 조건

면 니트를 MCT-bifunctional 구조의 염료(MCT+VS)인 yellow5101, red5101, navy blue5101과 MFT-bifunctional 구조의 염료(MFT+VS)인 yellow5201, red5201, navy blue5201, 외산염료인 yellow, red, navy blue염료 3원색을 각각 0.5%o.w.f, 액비 10:1의 염료 농도로 염색을 진행 하였다. 먼저 30°C에서 염액을 넣고 교반을 한 후 바로 중성염 50g/l를 5, 15, 15g/l씩 4회에 걸쳐 3분 간격으로 분할 투입하였다. 이후 10분간 흡착 과정을 거친 다음 60°C까지 1°C/min로 승온하고 60°C에서 알칼리 20g/l를 넣고 60분간 반응 과정을 거쳤다. 염색이 종료된 후 소핑제 1g/l를 넣고 98°C에서 10분간 유지하여 소핑 과정을 거쳤다.

Figure 1은 반응성 염료의 염색 공정을 나타낸 것이다.

2.3 염액 상태의 측정

염액의 흡광도를 염색과 동시에 실시간으로 측정하기 위해서 다이오미터(dye-o-meter, DyeMax, KITECH)를 사용하였다^{9,16}. 다이오미터는 실제 면직

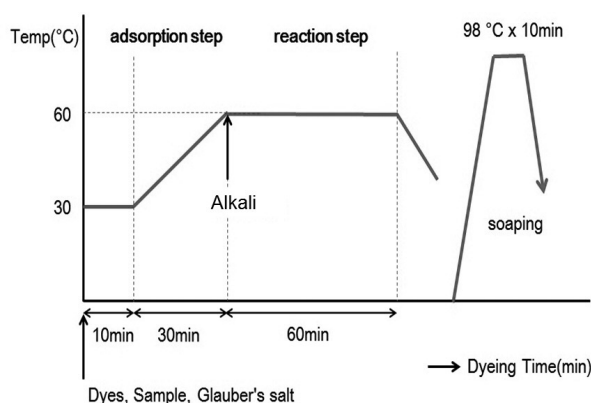


Figure 1. Dyeing process of reactive dyes⁹.

물의 반응성 염료 염색과정과 유사하도록 만들어진 액류 염색기와 일정시간 간격으로 염액의 흡광도를 측정하는 측정 장치, 측정된 데이터를 분석하고 모니터 화면에 보여주는 분석 프로그램으로 구성되어 있다¹⁰⁻¹²⁾. 측정 장치는 염액이 순환되는 순환프레임과 광원, 그리고 디텍터(Detector)로 구성되어 있다. 염액 순환 프레임은 UV-Vis 200-750nm의 파장범위에서 측정이 가능하고 내열성, 내압성 및 내화학성을 갖춘 것으로 투과 거리가 0.5mm인 것을 사용하였다.

펄스제논 램프(Pulsed xenon lamp)를 광원으로 하여 파장범위 220-750nm에서도 안정적인 측정이 가능하도록 하였다. 디텍터는 최대 8대까지 채널을 확장하여 측정 할 수 있고 파장범위 200-1,100nm에서 25 μ m의 slit을 사용함으로써 고해상도(0.3-1.5nm FWHM)로 염액을 측정 할 수 있다.

다이오미터는 염색과 동시에 1분에서 3분 간격으로 염액 프레임을 순환하는 염액의 흡광도를 측정하고 분석하여 흡진율로 나타내었다.

2.4 고착률의 측정

염색과정에서는 고착률을 알기가 어려우므로 흡착된 염료와 고착된 염료의 비가 염색 조건에 따라 어떻게 변화하는지를 알 필요가 있다.

염색 후 소핑제(Sandope RSK, Clariant, Germany) 2g/l를 액비 10:1, soaping 온도 98 $^{\circ}$ C에서 10분간 처리를 하여 미고착 염료를 제거한 후 다음 식(1)에 의해 고착률을 구하였다¹³⁾.

$$\text{Fixation} = \frac{\text{concentration of dye reacting with fiber}}{\text{concentration of dye adsorbed on fiber}} \dots\dots\dots (1)$$

2.5 용해성 평가

CPB 염색에 적합한 고용해성 염료 선별 기준을 제시하기 위해 용해성 평가를 한다. 250ml 삼각플라스크에 100mL의 증류수를 넣고 5g의 중성염, 15g의 염료를 투입하고 알칼리의 경우 60 $^{\circ}$ C 승온 후 투입한다. 60 $^{\circ}$ C 또는 80 $^{\circ}$ C에서 30분간 흔들어 주고 필터페이퍼(Filter paper No.2(10 μ m), Whatman, Whatman International Ltd Maidstone, England)에 여과하여 여과속도, 멍치는 정도 등의 발생 유무를 확인한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 염료구조에 따른 개별 염료의 흡진 거동

본 연구에서 사용한 MCT+VS와 MFT+VS 염료의 대략적인 구조는 Figure 2에 제시하였다. MCT+VS 염료의 경우 yellow5101, red5101, navy blue5101 염료 모두 azo 계열의 구조를 가지며, MFT+VS 염료의 경우 yellow5101, red5101 염료는 azo 계열의 구조, navy blue5101 염료는 formazan 계열의 구조를 가진다. 여기서 MFT+VS 염료 중 yellow, red의 경우는 VS기가 MCT+VS 염료의 yellow, red와 달리 지방족이 연결된 형태를 지닌다. 또한, 각 염료에서 R1은 VS 형태의 반응기를 나타내며, R2-R6는 술포

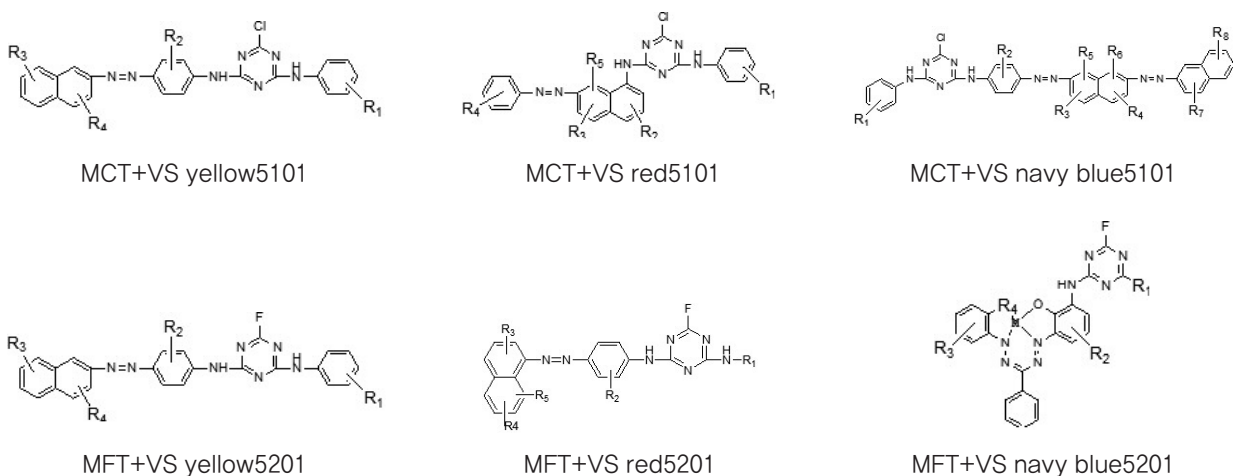


Figure 2. Structure of MCT+VS and MFT+VS reactive dyes.

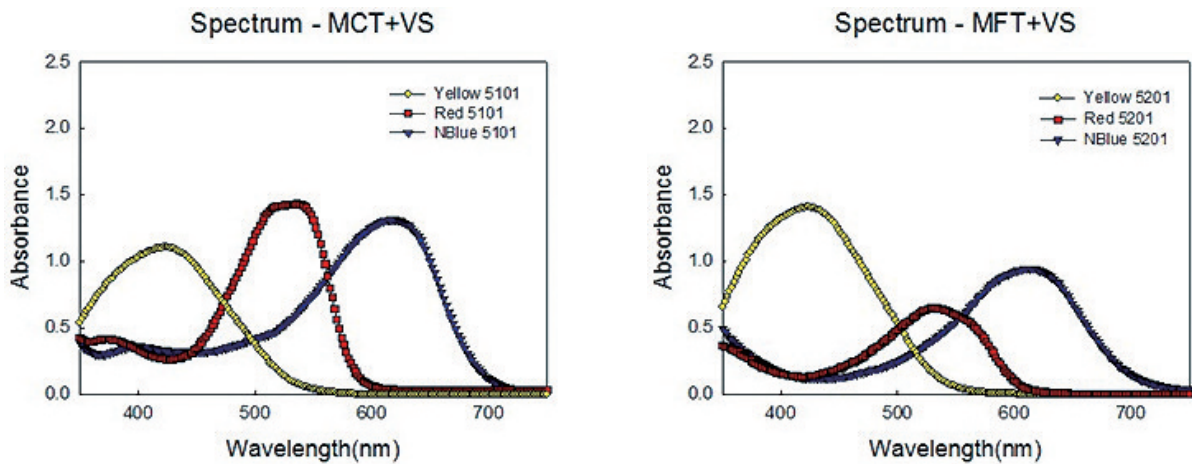


Figure 3. UV-vis spectra of MCT+VS and MFT+VS reactive dyes.

산기와 같은 수용성 관능기 또는 아미노기를 포함한 극성이 큰 관능기를 의미한다.

Figure 3은 MCT+VS, MFT+VS 염료의 색상별 UV-vis 스펙트럼을 나타내었다. Yellow의 경우 두 염료 군에서 yellow5101과 yellow5201이 거의 비슷한 화학 구조를 가지고 있기 때문에, 그에 따라서 거의 비슷한 흡수 스펙트럼을 보였다. 반면, red5101과 red5201은 azo 기가 나프탈렌의 서로 다른 위치에 연결되어 구조적으로 다른 부분이 있기 때문에 평면성과 염료 분자 내 전자이동이 변하게 되고, 이로 인하여 흡광곡선 및 흡광도에서 큰 차이를 보였다. blue의 경우 blue5101과 blue5201은 염료 모체가 다르기 때문에 기본적으로 흡수 스펙트럼의 모양에서 약간의 차이를 나타냈지만, 전반적으로 큰 차이를 보이지는 않았다.

염료 구조에 따른 흡진 거동을 분석하기 위해 다이오미터를 이용하여 흡진을 및 고착률을 측정하였다.

Figures 4-6는 염료구조에 따른 개별 염료의 흡진 거동을 나타낸 것이다. MCT+VS 염료의 경우, 특히 yellow5101, red5101 염료에서 알칼리 투입 후 빠른 흡진 거동을 보였다. 이러한 거동은 알칼리 투입 후 급격하게 상승하는 곡선의 기울기에서 확인할 수 있다. 이에 반해 MFT+VS과 외산 염료의 경우 알칼리 투입 후 상대적으로 느린 흡진 거동을 나타냈다. 이는 yellow, red MCT+VS 염료의 경우, 말단에 위치한 VS 반응기에 방향족이 연결되어 있어 VS 반응기에 지방족이 연결된 yellow, red MFT+VS 염료에 비해 반응기가 반응성이 높아지고 이로 인하여 알칼리에 대해 민감하게 반응하기 때문으로 사료된다¹⁴⁾. 이러한 특성으로

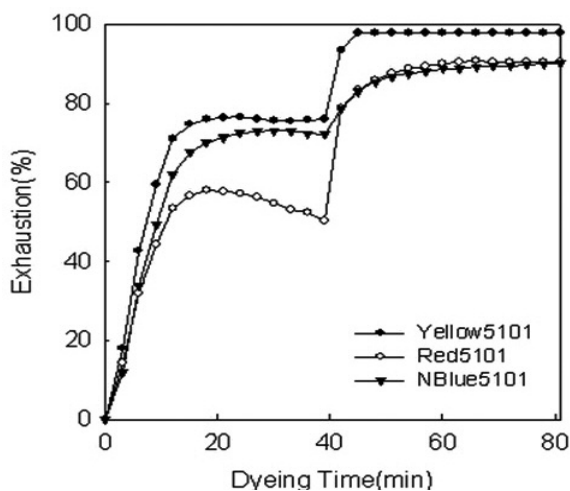


Figure 4. Exhaustion behavior of MCT+VS individual dye (concentration 1.0%owf).

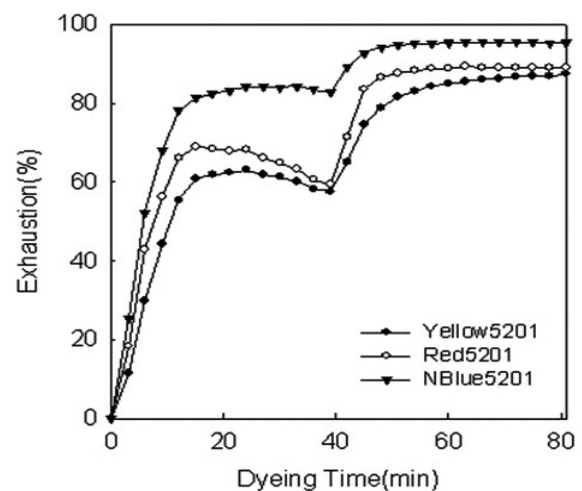


Figure 5. Exhaustion behavior of MFT+VS individual dye (concentration 1.0%owf).

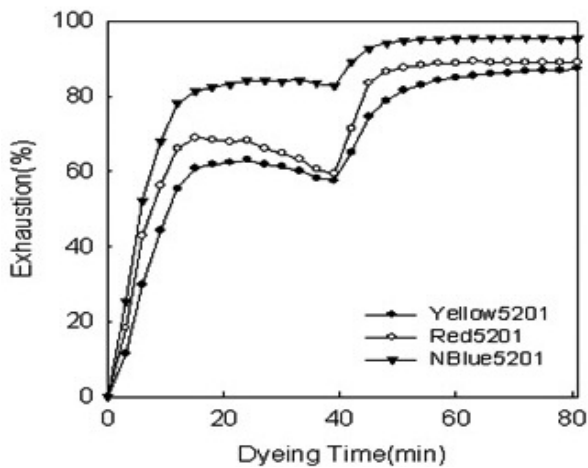


Figure 6. Exhaustion behavior of imported individual dye(concentration 1.0%owf).

인하여 yellow, red MCT+VS 염료를 이용한 염색을 진행할 때 알칼리로 인한 불균염이 발생할 가능성이 존재한다¹⁵⁾.

3.2 염료구조에 따른 혼합 염료의 흡진 거동

CPB 염색에 사용되는 염료를 염료구조에 따른 혼합 염료의 흡진 거동을 분석하였다. Figures 7-9은 염료 구조에 따른 혼합 염료의 흡진 거동을 나타낸 것이다.

Figure 7에서 보면 MCT+VS 혼합 염료의 경우 yellow5101과 navy blue5101 염료는 동일한 흡진 거동을 나타내었다. 반면, red5101의 경우 개별 염료의 흡진 거동에서 볼 수 있듯이 알칼리 투입 후 빠른 흡진 거동을 보이고 있어 혼합 염액 상에서 알칼리에 대한 민감함을 알 수 있다.

Figure 8에 제시된 MFT+VS 혼합 염료의 경우는 yellow5201과 red5201의 흡진 거동이 유사하고 최종 흡진율도 동일하였다.

Figure 9의 외산 염료의 경우 개별 염료의 전체 흡진 경향과 알칼리 투입 후 흡진 거동이 유사하였다. 이와 같은 결과는 개별 염료가 보인 흡진 거동 결과와 일치하는 것으로, 혼합 염료를 통하여 CPB 염색을 진행할 경우 외산 염료 대비 MFT+VS 염료가 균염성을 가지는 CPB 염색 공정에 더 적합할 것으로 보인다.

3.3 염료구조에 따른 용해성 평가

염료구조에 따른 용해성을 평가하기 위해 염료 구조 별로 용해된 염료를 필터페이퍼로 필터링 후 필터페이

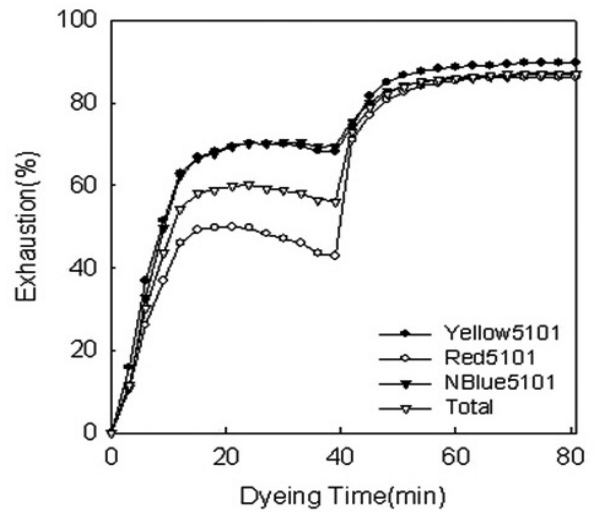


Figure 7. Exhaustion behavior of MCT+VS mixed dyes(concentration 1.5%owf).

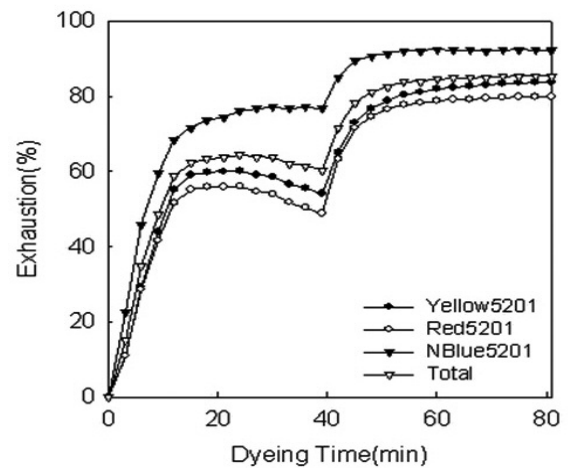


Figure 8. Exhaustion behavior of MFT+VS mixed dyes(concentration 1.5%owf).

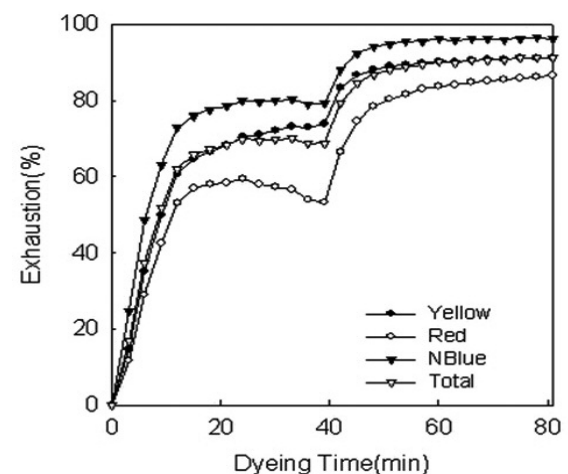
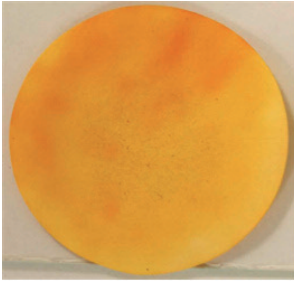
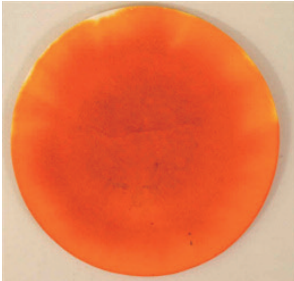
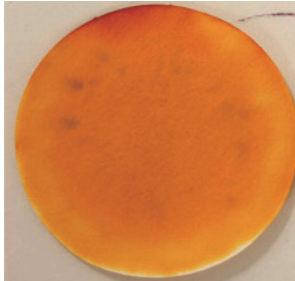
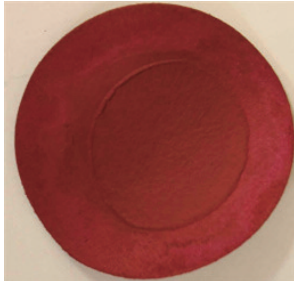
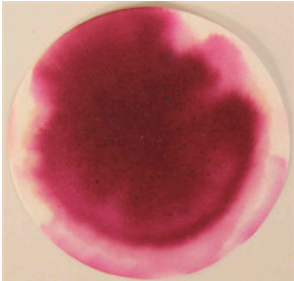
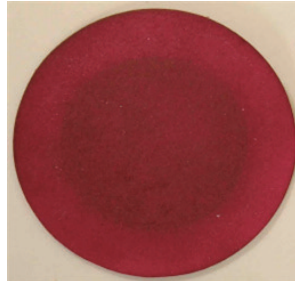
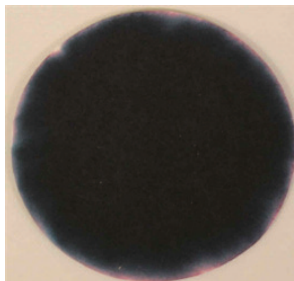
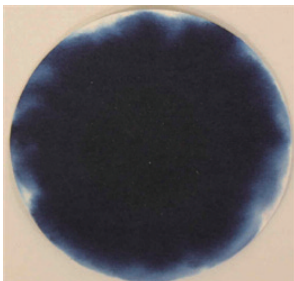
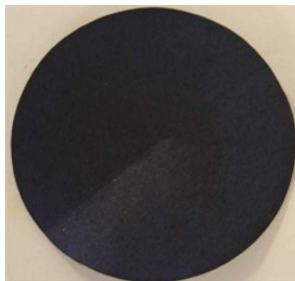


Figure 9. Exhaustion behavior of imported mixed dyes(concentration 1.5%owf).

Table 1. Solubility of the dye

Yellow		
MCT+VS	MFT+VS	Imported
		
Red		
MCT+VS	MFT+VS	Imported
		
Blue		
MCT+VS	MFT+VS	Imported
		

퍼에 남아있는 염료의 정도를 육안으로 판단하여 상대적인 용해도를 비교하였다.

Table 1은 염료구조에 따른 개별염료의 용해성을 알아보기 위해 용해된 염료를 필터페이퍼에 필터링한 것이다. MCT+VS, MFT+VS, 외산 염료의 용해도를 색상별로 비교한 결과를 보면, 용해도 차이는 크지는 않았으나 각 색상에 따라서 용해성의 경향이 상이함을 알 수 있다. 전 색상에 걸쳐 외산 염료에 비해서 MCT+VS, MFT+VS 염료의 용해성이 높았으며, 특히 MFT+VS의 경우 Red와 Blue에서 고용해성을 보였다. MCT+VS, MFT+VS 염료가 보인 높은 용해도는 주로 모체에 연결된 관능기(R2-R6)와 관련이 있으며, 두

염료군 모두 외산 염료에 비하여 수용성 관능기의 수가 많고 치환기의 입체 구조가 모체와 뒤틀린 구조를 가지거나 상대적으로 부피가 큰 것으로 판단된다. 더 명확한 용해도는 염료를 2g씩 계속 투입하면서 용해되지 않을 때까지 확인하는 방법이 요구되며, 추후 실험이 필요할 것으로 판단된다.

3.4 염료구조에 따른 kinetic index

염료의 염색 거동을 확인할 있는 kinetic index는 대표적으로 흡진율, 고착률, 직접성, 이염지수 등 4개의 매개 변수로 구성되어 있고 이중 흡진율 E(Exhaustion), 고착률 F(Fixation)을 제외한 직접성

Table 2. Kinetic index in accordance with the dye structure

Dye structure	Dye	S (%)	E (%)	F (%)	M.I. (%)	Half-dyeing time(min)
MCT+VS	Yellow5101	88.1	97.92	88.12	98.7	7
	Red5101	80.4	90.51	80.41	86.2	9
	Navy Blue5101	82.7	90.20	82.68	97.3	8
MFT+VS	Yellow5201	75.8	87.40	75.83	92.1	9
	Red5201	82.6	89.04	82.64	86.8	7
	Navy Blue5201	83.3	95.35	83.30	98.8	5
Imported	Yellow	82.2	93.90	82.20	91.8	9
	Red	79.1	89.37	79.06	88.2	8
	Blue	84.7	95.77	84.72	96.5	5

S(substantivity)은 아래의 식(2)와 같이 섬유 내 염료 농도와 용액 내 염료농도의 비로 나타내고 이염지수 MI(Migration Index)는 아래의 식(3)과 같이 이염된 섬유내 염료농도와 1차 흡착평형시 섬유내 염료 농도의 비로 나타낸다. 반염색시간은 2차 염착 평형시 최종 흡진율의 1/2 흡진율이 나타나는 시간으로 나타낸다.

$$\text{Substantivity} = \frac{\text{dye concentration in fiber}}{\text{dye concentration in solution}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Migration Index} = \frac{\text{dye concentration in dyed fiber}}{\text{dye concentration in fiber at the first adsorption equilibrium}} \dots\dots\dots (3)$$

Table 2는 MCT+VS, MFT+VS, 외산 염료에 대하여 측정 및 계산된 kinetic index를 나타낸 것이다. MCT+VS 염료의 경우 외산 염료와 비교했을 때 직접성은 유사하지만 Yellow 염료의 Migration index와 반염색시간에서는 큰 차이를 나타냈다. 개별 염료의 흡진 거동에서 외산 염료와 비슷한 거동을 보였던 MFT+VS 염료는 직접성과 Migration index, 반염색 시간에서도 유사한 경향을 나타냈다. 이는 MCT+VS, MFT+VS 염료에서 서로 상이한 반응기 구조에 따라서 직접성을 제외한 흡진, 고착 등의 거동이 달라지며, 염색 시간의 경향성도 바뀌기 때문으로 생각된다. 또한,

본 kinetic index 결과로부터 MFT+VS 염료가 외산 염료 대비 거의 동등한 염색 거동을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 CPB 염색에 사용되는 염료를 구조에 따라 나타나는 흡진거동을 분석하기 위해 다이오미터를 이용하여 염액을 측정하였다. 염료구조는 MCT-bifunctional 구조를 가진 염료(MCT+VS)와 MFT-bifunctional 구조를 가진 염료(MFT+VS)를 대상으로 현재 대표적인 외산 염료와 비교하여 CPB 염색에 적합한 염료구조 선정의 기초자료로 활용될 수 있었다.

1. 염료구조에 따른 개별염료의 흡진율은 MCT+VS 염료의 경우 특히 red5101 염료에서 알칼리 투입 후 빠른 흡진 거동을 보였고 MFT+VS과 외산 염료의 경우 상대적으로 알칼리 투입 후 느린 흡진 거동을 나타냈다.
2. 혼합염료의 흡진거동은 MFT+VS과 외산 염료의 염색 거동은 비슷한 경향성을 보였으며, MCT+VS 염료는 red5101의 높은 알칼리 민감도로 인해서 전체적으로 다른 흡진 거동을 나타냈다.
3. 염료구조에 따른 용해성 평가를 위해 MCT+VS, MFT+VS, 외산 염료의 용해도를 색상별로 비교하였을 염료군에 따른 용해도 차이는 크지는 않았으나, 각 색상에 따라서 용해성의 경향이 상이함을 알

수 있었다. 전 색상에 걸쳐 외산 염료에 비해서 MCT+VS, MFT+VS 염료의 용해성이 높았으며, 특히 MFT+VS의 경우 Red와 Blue에서 고용해성을 보였다.

4. 염료구조에 따른 온도지수는 MCT+VS 염료의 경우 직접성은 유사하지만 Yellow 염료의 Migration index와 반염색시간에서는 큰 차이를 나타냈다. 염료구조에 따라 개별염료의 삼원색이 유사했던 MFT+VS과 외산 염료의 직접성과 Migration index, 반염색시간은 유사한 경향을 나타냈다.
5. 위의 결과를 토대로 보면 MCT+VS 구조의 반응기를 가지는 염료에 비해서 MFT+VS 구조의 반응기를 가지는 염료가 CPB 염색에 있어서 더 적절한 특성을 보이며, 외산 염료와 비교했을 경우에도 거의 동등한 경향성을 나타내고 있다.

감사의 글

본 연구는 산업기술혁신사업 에너지기술개발사업(과제번호 20142010102940)으로 수행된 연구결과임.

References

1. J. Parka and J. Shore, Evolution of Right-First-Time Dyeing Production, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **125**, 133 (2009).
2. J. Park, Engineered Textile Colour Standards, *Color Technology*, **123**(1), 1(2007).
3. B. Glover, Making the Product Fit for the Job, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **107**(5/6), 184(1991).
4. Z. Khatri, M. Memon, and K. Brohi, "Energy, Environment and Sustainable Development", Springer, Verlag, Wien, pp.299-305, 2012.
5. U. Denter and E. Schollmeyer, "Bestimmung der Farbstoffaufnahme Beim Trichromen Faerben von Baumwolle, Teil 4: Untersuchungen zur Substantivitaet von Reaktiv Farbstoffen unter den Bedingungen des KKV-Verfahrens", Textilveredlung, Munchen, pp.158-168, 1995.
6. Z. Khatri, M. Memon, A. Khatri, and A. Tanwari, Cold Pad-Batch Dyeing Method for Cotton Fabric Dyeing with Reactive Dyes Using Ultrasonic Energy, *Ultrasonics Sonochemistry*, **18**(6), 1301(2011).
7. Jung. Ho. Lee, A New Color Recipe Prediction Method in the Cold Pad Batch Dyeing of Cotton Knit using NNMF Algorithm, M.S. Thesis, Soongsil University, 2007.
8. A. Uygur and M. Hall, An Investigation into the Reaction of Bifunctional Reactive Dye at Various pH Levels, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **112**(5-6), 167(1996).
9. J. Carbonell, Parameters to be Controlled in Batch Dyeing, *American Dyestuff Reporter*, **76**(3), 34(1987).
10. S. I. Hong, Real Time Measurement of Dye Exhaustion and its Application to Reactive Dyeing, M.S. Thesis, Soongsil University, 1999.
11. K. Beck, T. Madderra, and B. Smith, Real-time Data Acquisition in Batch Dyeing, *Text. Chem. Color.*, **23**(6), 23(1991).
12. A. Gilchrist and J. H. Nobbs, Dyeing Machine Control using In-line Colour Measurement Part 1: In-line Monitoring of Colour in Dye Liquors, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **113**(11), 327(1997).
13. A. H. M. Renfrew and J. A. Taylor, Reactive Dyes for Cellulose, Concurrent Methoxide-hydroxide Reactions of Triazinyl Reactive Systems: A Model System for Assessment of Potential Fixation Efficiency, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **105**, 441(1989).
14. Y. J. Kim, Synthesis and Application of Reactive Dye for Cold Pad-Batch Dyeing, Ph.D. Thesis, Seoul National University, 2002.
15. P. S. B. Glover and M. J. Bradbury, Achieving Right-First-Time Production through Control, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **108**, 13(1992).
16. S. I. Hong, H. D. Lee, J. Y. Shim, W. J. Seo, and B. S. Lee, Characteristics of Kapok Fibers According to Various Pretreatment Conditions, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(3), 230(2014).
17. S. Y. Bin, D. K. Kim, Y. J. Baek, S. W. Jin, and J. S. Bae, A Study on High Contraction Conditions by the CPB Process of the Nylon Fabric, *Textile Coloration and Finishing*, **27**(4), 309(2015).